

航空發動機製造中的 鑄造·鍛造·熱處理

H. B. CKPOMEHHO 著
董啟英 曾乃真譯

本書係根據蘇聯國立國防工業出版社（Государственное издательство оборонной промышленности）出版的 П. В. 沃克羅麥什柯（Окроменко）著“航空發動機製造中的鑄造・鍛造・熱處理”（Производство авиационных двигателей литье,ковка термическая обработка）一書 1947 年版譯出。

本書是航空高等工業學校航空發動機製造這門課程的一部份。書中主要闡述航空發動機製造工廠中各主要毛坯車間及輔助車間的生產施工情況，模型生產、鍛件生產、熱處理、鑄造生產和滑動軸承的生產。書中敘述鋁合金、青銅合金、鎂合金、鑄鐵、鉛青銅及巴比特合金的製備方法及其主要性能。

本書內容專為學過金屬學普通課程的讀者而編寫的。

本書除直接作為航空高等工業學校的教學參考書外，也可作為航空中等技術學校的參考書，並且也可以供航空發動機製造工廠及其他工廠的冶金車間工作人員的參考。

參加本書翻譯工作的為北京航空學院董啟英、曾乃真。參加本書校訂工作的為王兆昌、彭德一、吳雲書。

航空發動機製造中的 鑄造・鍛造・熱處理

書號330(課307)

沃 克 羅 麥 什 柯 著

董 啟 英 曾 乃 真 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 琿 瑯 廠 一 七 〇 號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號）

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上 海 天 通 港 路 一 九 〇 號

開本850×1168 1/32 印張17 12/16 字數 413,000

一九五五年五月上海第一版

印數 1—2,500

一九五五年五月上海第一次印刷 定價(8)二元六角二分

序 言

本書是“航空發動機製造”課程的一部分，是專為說明航空發動機零件的鑄造、鍛造及熱處理而編的，這些都是發動機製造廠冶金總工程師所管的各車間中所進行的生產過程。

本書是預備給已經學過材料學普通課程及普通工藝學的高等學校的學生之用。因此有關一般材料學的問題作者就完全不再涉及，或者只順便地談一下。

由於有關車間組織問題將由專門課程來討論，因此作者也同樣認為可以不詳細討論這方面的問題。本書在涉及某些具體問題時，附帶談一下與它們有關的生產組織的問題。

在學校中研究生產是不行的，但在學校中了解生產過程的管理方法，學會由很多的生產因素中分析出那些能決定生產任務能否完成的主要因素，還是可能的，亦是必要的。根據這一點，作者寫成這本書，力求在緊縮的篇幅內能把上述施工過程之要點加以闡明。

本書材料主要取自 1938 年出版的“毛坯及輔助車間”一書。

書中內容很大部分都經過改編，並補充了新的內容，這些新內容亦就是衛國戰爭時期成功地在蘇聯各航空發動機製造業中採用的一些新的施工法。

本書的基本方針及內容的分配沒有大的改變。

有關施工程序的擬定，特別是生產中流水作業法的施工程序的擬定，以及新型裝備使用後施工程序的擬定，本書給以充分的注意。

零件在金屬型中鑄造的一節擴充了，加入了敘述零件加壓鑄造的施工程序、表面淬火法以及用 X 光測驗鑄件質量等等的資料。

本書中有關鎂合金的章節是由已故工程師 A. C. 路伽西柯夫所寫。材料亦是取自 1938 年出版的“毛坯及輔助車間”一書，並作了一些必要

的修正。

本書可作航空學院的教學參考書，但一般機器製造高等學校的學生及中等技術學校的聽課者亦能用這本書作為參考，本書同樣適用於在生產工作中的工程師。

符號表

項 目	符 號	計 算 單 位
強度極限	σ_B	公斤/毫米 ²
拉伸屈服點(永久變形 0.2%)	σ_s	公斤/毫米 ²
不同長度延伸率: $l=5d$ $l=10d$ $l=11.3\sqrt{F}$	δ_5 δ_{10} $\delta_{11.3\sqrt{F}}$	} %
狹頸收縮率	ψ	
單位衝擊韌度 (試樣 10×10×60 毫米, 缺口 10HAK 標準, 深 2 毫米, $r=1$ 毫米)	a_k	
彈性模數	E	
布氏硬度	H_B	公斤/毫米 ²
布氏壓印直徑	d_B	毫米
洛氏硬度, 標度 C	R_C	

目 錄

序言

符號表

第一章 鑄造航空發動機零件用的模型	1
模型材料	1
模型車間的設備及組織	4
鑄造合金的收縮	9
模型的設計和施工程序	11
模型圖板	14
加工留量	22
模型的斜度	26
模型的尺寸公差	27
模型製造的次序	30
模型樣板	31
模型板	31
模型的保管和登記	32
參考書目	33
第二章 航空發動機零件的鑄造法	34
施工程序及其對於獲得優良品質鑄件的重要性	34
製型材料的選擇和製備	35
砂的分類	35
製型材料的性能	37
修飾材料和輔助材料	42
型砂的試驗	43
芯砂	44
芯砂的加入物	45
鑄型用砂	51
型砂的製備	52
鎂合金鑄件用製型材料和砂芯材料	54
芯砂	56
型砂和芯砂中的加入物	57
粘合物和塗料	61
型砂和芯砂的製備	62
參考書目	66

液態金屬引入鑄型的方法	68
澆口	68
豎澆道	69
集漿道	70
冒渣道	75
補充澆道	76
澆注系統的計算法	
過濾片	90
參考書目	91
鑄型的透氣和對鑄件冷卻時的補充	92
收縮和縮空的形成，在壓力下結晶	93
冒口	100
冷激	103
合金收縮傾向的決定	106
宏觀組織檢查鑄件的方法	106
用愛克斯光檢查鑄件的方法	107
澆注溫度	110
參考書目	114
第三章 鑄造生產	115
鑄造車間的組織	115
施工計劃	121
鑄造車間的工作定額	123
砂芯的製造法	126
砂芯製造機	126
砂芯骨架	131
砂芯板	133
製造砂芯的特點	134
砂芯的檢驗	138
砂芯和鑄型的烘乾	141
製型	146
砂箱製型	147
造型機	149
砂芯鑄型	155
套箱	161
鑄件壁厚度的檢驗法	163
合型(合箱)	164
鑄型的澆注、開箱及鑄件的清理法	171
疵病的檢查和防止疵病的方法	172
參考書目	175

第四章 鋁合金及其製造法	177
鋁合金的質量	177
塊狀金屬的質量對合金性質的影響	180
獲得緻密金屬的方法	181
冷凝作用	181
氯化	183
氮化處理	185
熔劑	186
合金孔洞的確定	187
在熱壓器中澆鑄	188
參考書目	191
鋁類中間合金的製造法	192
用直接混熔法製造中間合金	193
Al—Cu 中間合金	193
Al—Ni 中間合金	195
Al—Fe 中間合金	196
Al—Si 中間合金	197
Al—Mn 中間合金	198
Al—Cr 中間合金	198
Al—Mg 中間合金	199
用鋁熱法製造中間合金	199
Al—Ti 中間合金	200
Al—Mn 中間合金	201
加入物 Cr, Mo, W 及其他	201
鋁合金的製造法	202
組配爐料	202
熔化用爐	204
製造合金的程序	209
回爐料(鑄造餘料)的利用	214
鋁合金的分類	216
Al—Cu 合金	216
含 4% Cu 的合金	217
含 5—8% Cu 的合金	218
含 8—12% Cu 的合金	219
Al—Cu—Zn 合金	220
Al—Si 合金	221
含矽量在 5% 之內的合金	224
含 5—13% Si 的合金	224
Al—Cu—Si 合金	227
複雜的鋁合金	229

Y 合金	229
鈾鉛敏	231
RR 合金	282
Al—Mg 合金	234
澆鑄活塞的合金	238
合金鑄造性質的研究	238
參考書目	240
第五章 鎂合金	243
作為構造材料使用的鑄造鎂合金	244
參考書目	252
鎂合金的製造	252
美國方法	252
法國方法	255
美國的新方法	255
在蘇聯工廠中所採用的溶化法	256
參考書目	261
用於定型鑄造的鎂合金	262
液體溶化性及液體流動性	262
收縮	265
結晶的間隔	265
耐熱性	266
參考書目	267
化學成分及性能	267
參考書目	274
砂型中鑄造鎂合金的鑄件	275
美國方法	280
歐洲方法	283
鎂合金鑄件生產的組織	286
參考書目	287
防止鎂合金腐蝕	287
酸洗	288
油漆保護層	289
參考書目	290
第六章 銅合金	291
成分及性質	291
用於熔化銅合金的熔爐	296
青銅工件的鑄造	297
銅合金的製造法	298
參考書目	300

第七章 生鐵的鑄造	302
活塞環的鑄造	302
離心法鑄造活塞環的襯套	311
參考書目	314
第八章 抗摩合金	315
鉛青銅	316
成分及性質	316
鉛青銅的製造法	319
鉛青銅的組織	320
軸瓦的澆鑄法	323
軸瓦及其毛坯	323
澆鑄	324
參考書目	327
巴比特合金	327
成分及性能	328
巴比特合金的製造法	331
軸瓦的澆鑄	333
鋁基的軸承	335
參考書目	338
第九章 鑄錠,金屬型鑄造及加壓鑄造	339
鑄錠	339
金屬型鑄造	342
金屬型鑄造工件的加工餘量及公差	343
用於金屬型鑄造的合金	347
金屬型的材料	347
金屬型的構造	348
金屬型鑄造	359
在金屬型中澆鑄所生廢品的類形	363
在金屬型中所鑄的下機匣	364
在金屬型中鑄造鎂合金	367
參考書目	370
有色合金用加壓法所鑄造的工件	371
用於加壓鑄造的合金	377
加壓鑄造的鑄型	377
參考書目	380
金屬型中鎂合金的鑄造	381
參考書目	385
第十章 零件的鍛造及模鍛	386

鋼質零件的鍛造	387
鑄錠壓鍛的程度	389
決定毛坯的容積	389
模鍛法	390
加熱爐	394
鍛模的設計	395
車間工具設備的組織	410
鍛工車間的設備	411
底座體積的影響	416
沖擊功	418
航空發動機零件的鍛造	420
模鍛壓縮機的轉子	420
連桿的模鍛	421
有凸緣齒輪及軸承殼體的鍛造	423
鍛造星型發動機的曲柄軸	423
汽缸的模鍛法	424
排列式發動機曲軸的模鍛法	425
空心活門瓣的鍛造法	426
鍛造鋁合金的工件	429
鎂合金的壓力熱加工	434
變形的溫度	434
變形的速度	435
鎂合金的鍛件	436
壓製鎂合金的工件	438
參考書目	443
第十一章 工件的熱處理	445
熱處理車間的組織	445
鋼製工件的熱處理	447
退火	448
常化	450
淬火	451
回火	457
时效	458
參考書目	459
滲碳	459
滲碳劑	461
滲碳規程	463
使部分工件不受滲碳作用的保護法	464
滲碳爐	465

滲碳工件的疵病	466
氣體滲碳法	466
氰化法	469
氰化槽的成份	470
氰化規程	470
適用於氰化的鋼料	471
用於氰化的加熱爐	471
氣體氰化法	472
參考書目	472
氮化法	473
用於氮化的鋼料	473
氮化時的物理化學過程	474
氮化鋼的性能	475
受氮化工件的製造程序	477
部分工件不受氮化法	479
氮化的過程	480
工件的檢驗	483
氮化用的加熱爐	484
參考書目	485
表面淬火法	487
感應式的加熱方法	489
參考書目	494
施工程序的擬定	495
航空發動機中鋼製零件的熱處理	495
曲柄軸	495
連桿	503
齒輪	505
凸輪軸及凸輪盤	512
活塞銷及連桿銷	515
汽缸套筒	517
氣門閥	520
彈簧	522
受力的螺栓	525
主動軸	525
球座及拉桿	526
型材	529
輕合金的熱處理	529
時效的原理	532
鋁合金製件的熱處理	535
淬火前加熱的溫度	535
加熱的停留時間	536

淬火用的加熱爐	536
冷卻液	537
人工時效規程	538
人工時效所用的加熱爐	538
重覆加熱的影響	538
鋁合金所製航空發動機零件的熱處理	540
參考書目	542
用鋁青銅製造的汽門座	542
鎂合金零件的熱處理	543
參考書目	550

第一章 鑄造航空發動機零件用的模型

模型材料

模型,按其材料的不同可分為:金屬模、木模、水泥模、石膏模及複合結構的模。

在大批生產中需要耐用及特別堅固的模型,就應使用金屬模型。

金屬模型可以保證鑄型具有高度的準確尺寸。在大量生產中,大都使用製型機來做鑄型和心型。與製型機配合一同使用時,金屬模型使我們能得到同一尺寸的鑄成品。雖然金屬模型價值昂貴,但是在大批和大量生產中仍然有利。金屬模型不需要經常的修理,使用期限長,不像木材等製造的模型容易歪扭變形。

鋁合金、銅合金和鑄鐵等,都可用來製造模型(表1)。

表1. 製造模型用的合金(成分以%計)。

合 金 編 號	Cu	Sn	Zn	Pb	Al	Fe	Si	Sb	Bi	收縮量,%
1)	83	10	7	—	—	—	—	—	—	1.3
2)	85	5	5	5	—	—	—	—	—	1.4
3)	89	—	—	—	10	1	—	—	—	1.5
4)	3	—	10	—	87	—	—	—	—	1.4
5)	8	—	—	—	90	—	2	—	—	1.4
6)	—	—	—	—	Oct.	—	6.5—13	—	—	0.9—0.5
7)	1	40	1	40	—	—	—	15	3	0.2
8)	—	—	5	80	—	—	—	15	—	0.3
9)	—	—	—	71	—	—	—	15	14	~0.2
10)	—	17	—	70	—	—	—	13	—	0.3

爲了減少材料的消耗及減輕重量起見,金屬模型一般都作成帶有加強肋的空心模。表2列出模型壁及加強肋的厚度。

金屬芯盒的壁做成6—12毫米的厚度。比較大的金屬芯盒壁的厚

度可以大到 15—16 毫米。芯盒開口的一面蓋以鋼板，並用埋頭螺釘擰緊。

表 2.

模型尺寸,以毫米計			壁和肋的厚度,以毫米計
長	寬	高	
300 以下	200 以下	200 以下	8—10
600 以下	500 以下	400 以下	8—12
1300 以下	800 以下	600 以下	12—18

依據鑄造的條件,金屬模型和金屬芯盒的壁厚,儘可能做成相同的厚度。模型及各部分的加工餘量,根據下列的加工方法選擇。對於圓柱形的部分和表面,能夠在機床上加工時,每一面可留有 3—5 毫米的餘量。對於以手工方法加工的部分,必須保證能夠得出平坦的光滑表面而選擇最小的餘量,平均在 0.6—2 毫米。

表 3. 金屬模型毛坯的加工餘量

模 型 材 料	加工種類和加工餘量,以毫米計				
	手工加工		機械加工		
	用 鋸	鑽 孔 機	銑	鏟	鉋
鑄 鐵	1	0.75	2.5	3	3.5
青 銅	1	0.75	2.5	3	3
鋁 合 金	1.5	1.0 以下	3	3.5	4

附註: 在製型時,凡是與型砂接觸的平面,以及模型和模型底板接觸的平面都應留有加工餘量。在選擇加工餘量時,應考慮到模型的尺寸,因為鑄造的模型愈大時,在鑄造後其歪扭量就愈大。

鑄造重大的零件時,用鋁模型較用銅模型好,因為鋁模型的重量比較輕。鑄造薄壁的零件時,最好用銅合金作的模型,因為它的強度大。鑄鐵模型的航空製造業中僅在製型機上使用。

青銅模型非常耐用，在定期大修的條件下，它可以翻製 4000—4500 次鑄型。鋁合金模型的使用期限為 2000—2500 次。青銅模型的價值比鋁模型的價值貴 30%。

由於木質模型的製造比較簡便，它有足夠的強度和較輕的重量，所以也時常被採用。木質模型的缺點就在於木材易吸收水分而變形，必須經常的修理，容易磨損以及能拆卸部分安裝的不夠準確等。

木質模型用於單個的鑄造上。在大量生產時，不用木質模型，而代之以金屬模型。

送到工廠裏去的木材，如果事先沒有乾燥的話，它含有 15—16% 的水分。所以在加工之前應該把濕木材放在特種烘乾室內加以人工烘乾，使它所含的水分降低到約為 10%。過量的水分會使木質鬆軟，而水分不足會使木質變脆。

木質模型的使用期限，根據它的複雜性及使用它的條件而定。在正常的維護及正確的使用條件下，它可以使用 600—1200 次。木質模型必須經常的檢查，並且在經過 15—20 次製型之後要進行一次小修（矯正和塗漆）。經過 100—120 次製型之後作一次大修理。

製造木質模型最常用的木材是赤楊，因為它的收縮不大，有足夠的強度並且容易加工。松木僅供作芯盒的外部使用。

石膏及水泥做的模型，用於較小而不複雜的零件製型，而且不論是用機製型或手工製型時都可以使用。這種模型的使用期限不大。在合理的使用下，它可以使用 100—120 次。這種模型的優點在於價值不高，製造迅速。如果預先有準備好的製型盒時，在一天之內就可以製成好幾個石膏模型。

木質模型的拆卸部分往往用金屬製成。有的模型是金屬的而芯盒是木質的，或者相反，模型是木質的而芯盒是金屬的。欲鑄造金屬模型時，事先製出一木質或石膏模型來。鑄出來的金屬模型各部分，按照樣板加以機械加工或手工加工，使彼此尺寸適合再用梢釘銷住。然後將

模型加以粗磨和細磨，經過總的核對後在模型部分上打印。

由手工用刮板或機械加工製造石膏模型。製造石膏模型時，必須選用最好的石膏。石膏容易接受刀具、刮刀、鑿等的加工，容易鋸成幾部分並容易黏合。

當石膏模型還在潮濕的時候，灑上一層很稀的石膏液再加以修飾。俟模型硬化以後，再用細砂布加以修飾並塗以光漆。

模型車間的設備及組織

不論小量或大量生產的工廠，在模型車間的生產總是論件生產的性質。

雖然如此，模型的生產組織應該是使大部分工作分給機床及副工作，而熟練的模型工人只是進行作最後的修整和配合模型的工作。模型車間的設備應適合生產的條件。模型車間的機床設備，應保證對木材及金屬都能加工。

在模型車間裏必須有圓盤鋸、帶鋸、鉋床、鑄床、製棒機床、插床、磨床及手提鑽床。

模型車間包括下列各部分。

A. 生產部分

- (1) 製造毛坯間，
- (2) 煮膠及膠合間，
- (3) 木料加工機床間，
- (4) 金屬加工機床間，
- (5) 模型間，
- (6) 修理模型間，
- (7) 油漆間。

B. 輔助部分